

Pflanzen und Insekten: Ein Beispiel für coevolutive biochemische Anpassung

Hartmann, Thomas

Veröffentlicht in:
Jahrbuch 1996 der Braunschweigischen
Wissenschaftlichen Gesellschaft, S.55-57



Verlag Erich Goltze KG, Göttingen

THOMAS HARTMANN, Braunschweig

Pflanzen und Insekten: Ein Beispiel für coevolutive biochemische Anpassung*

Braunschweig, 9. Februar 1996

Pflanzen bilden in kaum überschaubarer Strukturvielfalt sogenannte „sekundäre Pflanzenstoffe“. Diese chemische Vielfalt ist uns im täglichen Leben ebenso vertraut wie die Pflanzen, die sie hervorbringt. Denken wir an Gewürzpflanzen wie Pfeffer, Paprika und Ingwer mit ihren Scharfstoffen, die Genußmittel Kaffee, Tee und Kakao, die Duftpflanzen als Lieferanten von Parfüms und Aromastoffen, aber auch an Pflanzen, die höchst giftige oder rauscherzeugende Stoffe enthalten, wie Tollkirsche und Schlafmohn. Im Gegensatz zum Grundstoffwechsel (Primärstoffwechsel) ist der Sekundärstoffwechsel für Wachstum und Entwicklung der Pflanze nicht erforderlich. Die Entbehrlichkeit der Sekundärstoffe für den Zellstoffwechsel und ihre Strukturvielfalt wurden lange Zeit als Argument dafür angeführt, daß Sekundärstoffe Neben- und Abfallprodukte des Stoffwechsels seien, oder Sekundärstoffwechsel wurde gar als die „Spielwiese der chemischen Evolution“ bezeichnet.

Heute sind diese Vorstellungen weitestgehend widerlegt. Viele konkrete Beispiele belegen, daß Sekundärstoffwechsel für die Pflanze eine unverzichtbare Funktion beim Überlebenskampf der miteinander konkurrierenden Organismen erfüllt. Die ortsstete Pflanze, die sich nicht wie das Tier durch Verhalten (Flucht, Drohgebärde etc.) gegenüber Fraßfeinden wehren kann, die auch kein Immunsystem zur Abwehr pathogener Mikroorganismen besitzt, kann sich außerordentlich wirksam mit chemischen Mitteln verteidigen. Im vielfältigen und dynamischen Wechselspiel zwischen Angreifer und Verteidiger haben sich im Zuge der Coevolution von miteinander um das Überleben konkurrierender Organismen hoch entwickelte, interspezifisch wirksame chemische Abwehrsysteme herausgebildet. Dabei haben es Spezialisten (z.B. unter den herbivoren Insekten) immer wieder geschafft, selbst die besten Abwehrbarrieren zu überwinden. Sie haben sich damit zugleich eine für andere Herbivoren unzugängliche Futterquelle als ökologische Nische erschlossen. Gelegentlich verwenden angepaßte Herbivoren, wie verschiedene phytophage Insekten, pflanzliche Sekundärstoffe sogar zu ihrer eigenen Verteidigung.

Seit etwa 10 Jahren werden im Labor des Referenten die Pyrrolizidin-Alkaloide (PAs), beispielhaft für eine typische Klasse sekundärer Pflanzenstoffe, bearbeitet [1]. PAs, wie das in Abb. 1 dargestellte Senecionin, werden in der Pflanze als *N*-Oxide gebil-

* Bericht über einen Vortrag vor der Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften

det, transportiert und in der Zellvakuole in löslicher Form gespeichert. Die gut wasserlöslichen, salzartigen Alkaloid-*N*-Oxide sind relativ labil und werden leicht in Gegenwart schwacher Reduktionsmittel zum lipophilen tertiären Amin reduziert (Abb. 1). Spezialisierte Nachtfalter wie die Larven (Raupen) des auf dem Jakobskreuzkraut (*Senecio jacobaea*) lebenden Blutbärs (*Tyria jacobaea*) speichern PAs wie die Pflanze ebenfalls ausschließlich in Form ihrer *N*-Oxide. Durch Einsatz von markiertem Senecionin-*N*-Oxid, bei dem der normale *N*-Oxidsauerstoff (^{16}O) gegen das schwere Sauerstoff-Nuclid ^{18}O ausgetauscht war, konnte gezeigt werden, daß PA-*N*-Oxide im Darm der Nachtfalterraupe reduziert und in Form des lipophilen tertiärenamins passiv resorbiert werden. Nach oraler Fütterung von ^{18}O -*N*-Oxid-markiertem PA an Raupen, zeigte die anschließende Analyse des resorbierten PA-*N*-Oxids, daß das gesamte ^{18}O gegen normales ^{16}O ausgetauscht worden war. In der Hämolymphe des Insekts wird das tertiäre Amin rasch wieder *N*-oxidiert. Das für die *N*-Oxidierung verantwortliche Enzymsystem konnte isoliert, gereinigt und charakterisiert werden. Es handelt sich um ein Flavoprotein, das als mischfunktionelle Monoxygenase spezifisch solche PAs *N*-oxidiert, die potentiell toxisch sind. Es konnte damit erstmals ein Enzym in Insekten nachgewiesen werden, das spezifisch einen aus dem Pflanzenstoffwechsel stammenden Naturstoff „bearbeitet“ und damit in eine für den Insektenstoffwechsel untoxische Form überführt. Die Toxizität der PAs besteht darin, daß sie als tertiäre Amine (nicht aber als *N*-Oxide) leicht durch sogenannte Cytochrom-P₄₅₀-Oxydasen in ein Pyrrol-Intermediat überführt werden können, das wegen seiner Reaktivität mit biologischen Nucleophilen hochgradig cytotoxisch und

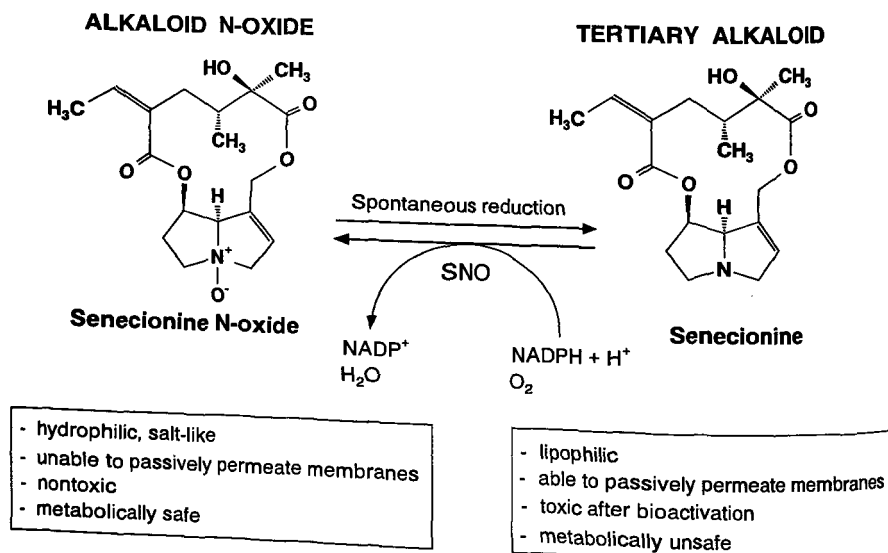


Fig. 1.
Eigenschaften von Senecionin-*N*-Oxid und dem entsprechenden tertiären Amin,
sowie ihre Interkonversion durch spontane Reduktion und spezifische enzymatische
N-Oxidierung. SNO = Senecionin *N*-Oxygenase.

mutagen ist. Cytochrom-P₄₅₀-Enzyme kommen in nahezu allen tierischen Organismen, so auch in Insekten, vor und spielen bei der Fremdstoff(Xenobiotika)-Metabolisierung eine zentrale Rolle. Im Falle der PAs versagt das sonst so effektive Enzymsystem und erzeugt ein Toxin.

In den geschilderten biochemischen Mechanismen liegt der evolutive Erfolg der PAs. PAs werden offensichtlich leicht und physiologisch problemlos in Form der untoxischen *N*-Oxide in Pflanze und Insekt gespeichert. Bei einem Angriff durch ein Herbivor oder Insektivor werden sie im Verdauungstrakt reduziert und damit in die potentiell toxische Form überführt, die nach Resorption und Bioaktivierung (Pyrrolbildung) im Körper des Fraßfeindes oder Räubers ihre Giftwirkung ausüben können (Abb. 1) [2].

Literatur

- [1] Hartmann, T. and Witte, L. (1995): Pyrrolizidine alkaloids: chemical, biological and chemoeological aspects. In: *Alkaloids: chemical & biological perspectives* (S.W. Pelletier, ed.), vol. **9**, pp. 155–233, Pergamon Press, Oxford.
- [2] Lindigkeit, R., Biller, A., Buch, M., Schiebel, H.-M., Boppré, M., and Hartmann, T. (1997): The two faces of pyrrolizidine alkaloids: a tertiary amine and its *N*-oxide and their role in chemical defense of insects with acquired plant alkaloids. *Eur. J. Biochem.* **245**, 626–636.

Prof. Dr. Thomas Hartmann
Institut für Pharmazeutische Biologie · TU Braunschweig
Mendelssohnstraße 1 · 38106 Braunschweig